Абракітов В.Е., Абракітов Д.В. Негативний вплив шуму на конструкції будівель, що несуть та огороджують, в світлі механіки руйнування// Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: Наук.-техн. збірник. Вип. 42. – К. – Дніпр.: Основа, 2007. – С. 296-301.

УДК 624.012.45:620.17

В.Е. Абракітов, канд. техн. наук, Д.В. Абракітов

Харківська національна академія міського господарства , м. Харків

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ШУМУ НА КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ, ЩО НЕСУТЬ ТА ОГОРОДЖУЮТЬ, В СВІТЛІ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

Ми не станемо говорити про негативний вплив шуму на організм людей. Про це вже написано дуже багато. Ми, продовжуючи тематику [1], торкнемось зовсім іншої проблеми: ми досліджуємо негативний, руйнівний вплив міського шуму на неживі об'єкти.

Summary. We not figure to speak of negative influence of the noise on organism of the people. About this is already written plenty of. We, conti nuing themes [1], negative quite other problems: we research negative, destructive influence of the town noise on lifeless objects.

Як аксіома сприймається хрестоматійне положення про те, що поглинута звукова енергія в товщі середовища перетворюється в теп лову. Влучення звуку на поверхню матеріалу приводить до механічного переміщення конструктивних елементів споруди або пристрою на мікрорівні, що має вид складного коливального руху в товщі цього середовища. Мікро-"цеглинки", що складають на макрорівн, під в пливом проходження шуму в ній розгойдуються! На молекулярному рівні варто говорити про змушені коливання структурних елементів будь-якої речовини під впливом зовнішнього шуму.

Експериментальні зразки конструкцій, досліджувані в лабораторії, руйнуються при так званих статичних руйнівних напруженнях. Однак повністю адекватні їм зразки таких же точно конструкцій у процесі

експлуатації руйнуються при навантаженнях, більше низьких, ніж статичні руйнівні навантаження. Це обумовлено накладенням на статичне напруження додаткового знакозмінного напруження під впливом звукової хвилі, вібрацій, і ін. факторів. Це негативне явище одержало назву «втомлення матеріалу». В роботі [2] наводиться фото розламаної конструкції літака, і надається підпис про те, що таке руйнування сталося внаслідок акустичного випромінювання (шум від того ж двигуна); при тому підкреслюється, що причиною руйнування став саме шум, а не вібрація або якісь інші причини. В роботі [3] надається такий вислів: «… Для "громких звуков" допустимая граница примерно 80 децибел. Звук в 130 децибел уже вызывает у человека болевое ощущение, а в 150 - становится для него непереносимым. Звук в 180 децибел вызывает усталость металла, а при 190 заклёпки вырываются из конструкций...».

Зрозуміло, що деформації конструкцій починаються вже при набагато нижчих значеннях, аніж наведено в цитаті з [3]. Навіть малі рівні звуку, що розповсюджуються через будь-який матеріал, викликають деформації на мікрорівні. Додаючись до інших чинників, вони є причиною дуже негативних явищ. Втім, аналіз літературних джерел, окрім наведених вище, показує, що цією проблемою на серйозному рівні ніхто не займався.

Руйнування конструкції внаслідок утомлення відбувається в три етапи. На першому етапі (зародження), з'являються мікротріщини. На другому етапі (зростання тріщин), тріщини ростуть зі збільшенням швидкості під дією періодичних зовнішніх сил. На третьому етапі (руйнування), конструкція спонтанно руйнується, тому що поперечний перетин, що залишився, занадто малий для протидії зовнішнім силам. Початковий етап віднімає частину ресурсу конструкції, (від 50 до 75%). Однак більш точні дослідження на мікроскопічному рівні показали, що мікротріщини з'являються вже після вироблення 1% ресурсу.

Утома в матеріалах має фізичну основу, що досить добре вивчена

(задля інших цілей; вплив шуму на матеріали ніким не досліджувався). Першопричини знаходяться на субмікроскопічному рівні структури матеріалу. На цьому рівні всі метали мають монокристалічну структуру, але з деякими недосконалостями у виді вакансій і дислокацій. Стан навколо дислокації такий же, як на кінці незакінченого ряду зерен на кукурудзяному початку. У металах високої чистоти, лінії дислокацій можна побачити в електронний мікроскоп. В полі напружень, що викликано в кристалічних ґратах зовнішніми силами, дислокації можуть взаємодіяти і пересуватися. Кращим результуючим рухом є зрушення чи ковзання кристалічних шарів відносно один одного; найбільша чутливість до навантаження виявлена при 45^{o}.

Рух дислокацій спрямований на відновлення геометрично правильних кристалічних ґрат. Під час цього процесу, лінії дислокацій обов'язково будуть рухатися до поверхні кристала, де їх можна побачити як мікроскопічні смужки, тобто смуги ковзання. Сусідні смуги ковзання утворюють хвилясту поверхню, на якій канавки діють як центри зароджен ня мікротріщин, що розповсюджуються уздовж міжкристалітних границь. Ці тріщини будуть найчуттєві до компонентів напружень, спрямованих під кутом 90^{o} до поверхні тріщини. Під дією циклічних навантажень, вони будуть зростати стрибкоподібно. Вони звичайно йдуть з поверхні в глибину металу, і якщо до зразка прикладене слабке розтяжне зусилля, їх можна побачити як маленькі надриви.

Факт розкриття тріщин при низьких напруженнях указує на те, що для іхнього опису може бути використана лінійна залежність між дефор маціями і напруженнями. Елементи тензора напружень є безупинні функції від часу і відстані. Але на мікроскопічному рівні, ця рівна і безупинна картина порушується мікротріщинами, вершини яких виявляються як невеликі місцеві сінгулярності (особливі місця чи області) у безупинному полі напружень.

Абракітов В.Е., Абракітов Д.В. Негативний вплив шуму на конструкції будівель, що несуть та огороджують, в світлі механіки руйнування// Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: Наук.-техн. збірник. Вип. 42. – К. – Дніпр.: Основа, 2007. – С. 296-301.

Зокрема, ми можемо розглянути невелику плоску тріщину, що йде з поверхні. Розподіл місцевих напружень можна описати в локальній системі координат, де осі *x* і *z* перпендикулярні лінії фронту тріщини, (рис. 1).

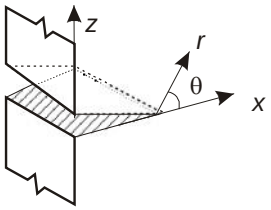

Рис. 1. Координати, що описують залежність між локальними деформаціями і напруженнями у фронті тріщини.

Виражаючи лінійне рівняння зв'язку деформацій і напружень у полярних координатах (r,θ) і допускаючи, що ці перемінні незалежні, компоненти локальних напружень можна записати як

$$\sigma_{\iota\varphi} = P(\rho)\,\Theta_{\iota\varphi}(\theta) \qquad (1)$$

На поверхнях тріщини, положення яких визначається $\theta = \pm\pi$,, як нормальні напруження, так і дотичні повинні дорівнювати нулю. Параметр, який описує напруження, повинний мати радіальну функцію виду

$$R(r) = r^{\frac{n}{2}} \qquad (2)$$

де n - величина, рівна нулю чи цілому числу. У більшості випадків, n необхідно опустити, тому що виходить або нескінченне напруження на великих відстанях, або нескінченні деформації в області фронту тріщини. Реальним значенням буде n=1, що дає сингулярність у фронту тріщини порядку -1/2. Для цього значення компонента напружень можна записати у вигляді

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi}}\Theta_{ij}(\theta) \qquad (3)$$

Тут, $\sqrt{2\pi}$ - це нормований множник, уведений для зручності. Коефіцієнтом K, загальним для всіх компонентів напружень, позначають інтенсивність напружень. Він залежить від форми тріщини й орієнтації тензора номінальних напружень. Він також пропорційний переважній

компоненті номінального напруження, що буде позначена через σ_∞.

У деяких особливих випадках, інтенсивність напружень K може бути виведена аналітично за допомогою інтегрування комплексної функції. Для довгої плоскої тріщини в металевій пластині довжиною $2x$, перпендикулярної подовжнім напруженням, компоненти місцевих напружень (3) будуть дорівнювати

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{x}{2r}}\,\sigma_\infty \Theta_{ij}(\theta), \text{ щоб дотримувалась умова } K = \sqrt{\pi x}\,\sigma_\infty \qquad (4)$$

Отже, навіть якщо номінальні напруження малі, компоненти місцевих напружень ij у фронту тріщини при r=0 можуть бути надзвичайно високими, та можуть бути навіть вище, ніж міцність матеріалу на розрив.

Ця неоднорідність у поле напружень може привести до руйнування матеріалу в дуже малій області біля вершини тріщини і, таким чином, збільшити цю тріщину. Однак, якщо напруження малі, така неоднорідність буде зведена на нуль, коли фронт тріщини проходить відстань, що порівняна з розміром зерна. З іншого боку, якщо напруження великі, неоднорідність у поле напружень не урівноважена, і тріщина розвивається до початку лавинообразного руйнування, що протікає приблизно зі швидкістю звуку.

Основним припущенням, при використанні механіки руйнування для пояснення утоми, є те, що ріст тріщин, зв'язаний зі змінами інтенсивності напружень K. Цикл напружень визначає максимум K_{max} і мінімум інтенсивності напружень K_{min}, при цьому розмах інтенсивності напружень

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \qquad (5)$$

Приблизно, цей цикл збільшить тріщину глибиною x на величину Δx:

$$\Delta x = \begin{cases} C(\Delta K)^m & for \ \Delta K > \Delta K_0 \\ 0 & \Delta K < \Delta K_0 \end{cases} \qquad (6)$$

Це вираження відоме як закон росту тріщин Паріса -Ердогана. C, m і K_0 - це емпіричні постійні, отримані в результаті лабораторних досліджень. Довжина тріщини a служить для опису напівеліптичної тріщини, де a і b

позначають довгу і коротку півосі: *a* - описує глибину тріщини, а 2b - це розкриття тріщини. Інтенсивність напружень прямо не враховується. Тому, лабораторні виміри бажано проводити на зразках, що мають тріщину такого типу, для якої відомі співвідношення між номінальними напруженням й їх інтенсивністю. Ріст тріщини можна виміряти, усереднюючи по необхідному числу циклів.

Оскільки крива зростання тріщини зв'язана лише з матеріалом, а не з конкретними геометричними особливостями, то зразок може бути маленьким, а частота навантаження - в звуковому діапазоні частот. Проводячи вимір на одному зразку, за короткий час можна одержати кілька точок на da/d кривій. Діаграма Велера зв'язана як з матеріалом, так і з формою, і для того, щоб одержати усього лише одну крапку на цій кривій, необхідно випробувати один зразок до руйнування. До того ж, великі зразки повинні бути випробувані при низькій частоті, тому одне дослідження може тривати багато часу.

Як і в (4), існує лінійне співвідношення між розмахом інтенсивності напружень *K* і розмахом переважних напружень. Виключивши можливий коефіцієнт концентрації напружень, - (він може дорівнювати розмаху номінальних напружень, тобто подвійній амплітуді, що позначена через S), для того, щоб врахувати можливий вплив форми зразків, (4) можна записати в більш загальному вигляді:

$$K = \sqrt{\pi x}\, g'(x)S = g(x)S,\ g(x) = g'(x)\sqrt{\pi x} \qquad (7)$$

У (7), $g(x)$ - локальна геометрична функція, яку можна обчислити аналітично чисельно чи за допомогою лінійного аналізу напружень. Довідник таких функцій є в декількох роботах по механіці руйнування, наприклад у [4]. Член входить до складу геометричної функції для вираження цієї функції без штриха $g(x)$. Підстановка (7) у (6) дає збільшення розміру тріщини:

$$\Delta x = \begin{cases} Cg(x)^m S^m & for \quad S > S_0(x) = \dfrac{\Delta K_0}{g(x)} \\ 0 & \qquad\quad S < S_0(x) \end{cases} \qquad (8)$$

Процес утоми може бути описаний як стрибкоподібне поширення тріщини в матеріалі: $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \ldots \Delta x_i \ldots$ Початкова глибина тріщини x_0 буде зв'язана з мікротріщинами, а кінцева довжина x_f буде досягнута при руйнуванні матеріалу. Формально, глибина тріщини може визначати коефіцієнт використання η, що зростає стрибками:

$$\eta = \frac{x - x_0}{x_f - x_0} \text{ и } \Delta\eta = \frac{\Delta x}{x_f - x_0} \qquad (9)$$

Висновки. В роботі досліджено негативний вплив звукової енергії (шуму) на конструкції будівель в світлі такого напрямку сучасної науки, як механіка руйнування. Розглянуто вплив звукової енергії на появлення мікротріщин в матеріалі, визначено коефіцієнт ви користання матеріалу η.

Список літератури

1. Абракитов В.Э. Акустическое загрязнение окружающей среды как фактор разрушения инженерных систем и строительных конструкций // Науковий вісник будівництва. Вип. № 38. Харків, ХТУБА ХОТВ АБУ, 2006. - С. 151-154.

2 Бишоп Р. Колебания: Пер. с англ. / Под ред. Я. Г. Пановко. - 3-е изд. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. - 192 с.

3. http://forum.radeon.ru/viewtopic.php?p=298265 Занимательные новости из мира техники: Radeon.ru.

4. H.E.Boyer, editor, "Atlas of Fatigue Curves," American Society for Metals, Metals Park, Ohio 44073, 1986.